

**FR2740894**

Publication Title:

**BISTABLE LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE**

Abstract:

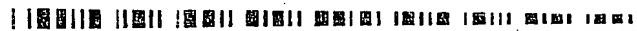
Abstract of FR2740894

A display device including two parallel transparent plates (10, 12) having transparent electrodes on the inner surfaces thereof and containing a liquid crystal material (20). The device includes means defining a monostable anchoring for each plate (10, 12), means (40) controllable to break at least one of the anchorings, and means for thereafter inducing volume bistability.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

---

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

D1  
19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

2 740 894

(21) N° d'enregistrement national : 96 04447

(51) Int Cl<sup>e</sup> : G 09 F 9/35, G 09 G 3/36, G 02 F 1/137

12

## BREVET D'INVENTION

B1

(54) DISPOSITIF D'AFFICHAGE PERFECTIONNÉ A BASE DE CRISTAUX LIQUIDES ET A EFFET BISTABLE

(22) Date de dépôt : 10.04.96.

(30) Priorité : 08.11.95 FR 9513201.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 09.05.97 Bulletin 97/19.

(45) Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 23.01.98 Bulletin 98/04.

(71) Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS ETABLISSEMENT PUBLIC A CARACT SCIENT ET TECH — FR.

(72) Inventeur(s) : BARBERI RICARDO, DOZOV IVAN, DURAND GEORGES, MARTINOT LAGARDE PHILIPPE, NOBILI MAURIZIO, POLLASSAT ERIC, LELEIDIS IOANNIS et GICONDO MICHELE.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : REGIMBEAU.

FR 2 740 894 - B1



La présente invention concerne le domaine des dispositifs d'affichage à base de cristaux liquides.

Plus précisément la présente invention concerne le domaine des dispositifs d'affichage à effet bistable.

5 Les dispositifs d'affichage à base de cristaux liquides ont déjà donné lieu à une littérature abondante.

On peut citer par exemple, à titre non limitatif, les documents suivants :

10 (1) Europhysics Letters (25) (7), p 527-531 Critical Behaviour of a Nematic-Liquid-Crystal Anchoring at a Monostable-Bistable Surface Transition, M. Nobili et al. ;

(2) J. Phys. II France 5 (1995), p 531-560 Surface Walls on a Bistable Anchoring of Nematic Liquid Crystals, M. Nobil et al. ;

15 (3) Liquid Crystals 1992, vol. 12, n° 3, p 515-520 Dynamics of surface anchoring breaking in a nematic liquid crystal, A. Gharbi et al. ;

(4) Liquid Crystals 1991, vol. 10, n° 2, p 289-293 Flow induced bistable anchoring switching in nematic liquid crystals, R. Barberi et al. ;

(5) Appl. Phys. Letters 55 (24) Electrically Controlled surface bistability in nematic liquid crystals, R. Barberi et al. ;

20 (6) Appl. Phys. Letters 60 (9) Flexoelectrically controlled surface bistable switching in nematic liquid crystals, R. Barberi et al. ;

(7) Appl. Phys. Letters (62) (25) Intrinsic multiplexability of surface bistable nematic displays, R. Barberi et al. ;

25 (8) Appl. Phys. Letters 40 (11) A Multiplexible bistable nematic liquid crystal display using thermal crasure, G.D. Boyd et al. ;

(9) Appl. Phys. Letters 37 (12) Threshold and switching characteristics of a bistable nematic liquid-crystal storage display, Julian Cheng et al. ;

30 (10) Appl. Phys. Letters 36 (7), Liquid-crystal orientational bistability and nematic storage effects, G.D. Boyd et al. ;

(11) J. Appl. Phys. 52 (4), Boundary-layer model of field effects in a bistable liquid-crystal geometry ; J. Cheng et al. ;

(12) J. Appl. Phys. 52 (4), The propagation of disclinations in bistable switching, J. Cheng et al. ;

- (13) J. Appl. Phys. 52 (2) Surface pinning of disclinations and the stability of bistable nematic storage displays, J. Cheng et al ;
- (14) Appl. Phys. Letters 40 (12) A nematic liquid crystal storage display based on bistable boundary layer configurations, J. Cheng et al. ;
- 5 (15) App. Phys. Letters 43 (4) Discovery of DC switching of a bistable boundary layer liquid crystal display, R.B. Meyer et al ;
- (16) J. Appl. Phys. 56 (2) Physical mechanisms of DC switching in a liquid-crystal bistable boundary layer display R.N. Thurston et al ;
- 10 (17) J. Appl. Phys. 53 (6) Optical properties of a new bistable twisted nematic liquid crystal boundary layer display R.N. Thurston et al ;
- (18) J. Appl. Phys. 52 (4) New bistable liquid-crystal twist cell, D.W. Berreman et al ;
- (19) Appl. Phys. Letter 37(1) New bistable cholesteric liquid-crystal display, D.W. Berreman et al ;
- 15 (20) Asia Display 95, A bistable Twisted Nematic (BTN) LCD Driven by a Passive-Matrix Addressing, T. Tanaka et al ;
- (21) J. Appl. Phys. (59) (9) Fast switching in a bistable 270° twist display, H.A. Van Sprang.

20 Les documents précités concernent essentiellement des études relatives aux cassures d'ancrages bistables, aux énergies d'ancrage et à des changements d'état par propagation de défauts.

La présente invention a pour but de perfectionner les dispositifs d'affichage à cristaux liquides pour permettre l'obtention d'un nouvel effet bistable.

25 Ce but est atteint selon la présente invention grâce à un dispositif d'affichage comprenant deux plaques transparentes parallèles munies d'électrodes transparentes sur leurs surfaces internes et contenant un matériau cristal liquide, caractérisé par le fait que le dispositif comprend :

- 30 - des moyens définissant un ancrage monostable sur chaque plaque,
- des moyens aptes à assurer sur commande une cassure de l'un au moins de ces ancrages, et
  - des moyens aptes à induire, suite à cette cassure, un effet bistable en volume.

Ces deux textures de volume doivent être compatibles avec les ancrages monostables sur les plaques.

Selon un mode de réalisation particulier :

- les plaques définissent des seuils d'ancrage différents (ces ancrages pouvant être par exemple planaires ou homéotropes),
- 5 - l'épaisseur du dispositif entre les deux plaques, est suffisamment faible pour permettre un couplage hydrodynamique entre les surfaces internes de celles-ci, et
- il est prévu des moyens aptes à appliquer entre les électrodes des deux plaques alternativement une impulsion de champ électrique d'écriture supérieure à un seuil apte à casser les ancrages sur les deux plaques pour définir, après interruption de ce champ électrique, un premier état stable tordu résultant d'un couplage hydrodynamique entre les deux plaques, et 10 un deuxième champ électrique inférieur audit seuil apte à casser un seul ancrage ou à front descendant variant lentement pour découpler les 15 basculements sur les deux plaques, afin de définir un second état stable homogène.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemple non limitatif et sur lesquels :

- les figures 1a et 1b illustrent schématiquement deux textures de cristaux liquides nématiques obtenues avec des ancrages planaires,
- la figure 2 illustre l'alignement forcé des molécules de cristaux liquides d'anisotropie diélectrique positive, sur un champ électrique appliqué,
- 25 - la figure 3 illustre la courbe reliant l'angle des molécules en surface des électrodes par rapport à une normale aux plaques et le champ électrique appliqué,
- la figure 4 illustre la courbe reliant le seuil de champ pour casser les 30 ancrages et la durée de l'impulsion de champ appliquée,
- les figures 5a, 5b, 5c et 5d illustrent schématiquement quatre textures obtenues successivement lorsque l'on abaisse progressivement le champ électrique appliqué,
- les figures 6a, 6b, 6c et 6d illustrent les textures obtenues lorsque au 35 contraire on coupe brusquement le champ électrique,

- la figure 7 schématise un courant de masse obtenu près d'une plaque lorsque le champ électrique est interrompu,
- la figure 8 représente schématiquement un cisaillement d'écoulement localisé adjacent à une plaque et s'étalant jusqu'à l'autre plaque lors de la 5 coupure du champ électrique de commande,
- la figure 9 illustre l'effet de couplage hydrodynamique entre les deux plaques,
- la figure 10 illustre une structure de flexion obtenue grâce au couplage hydrodynamique,
- 10 - la figure 11 illustre une structure tordue obtenue après la relaxation de la structure de flexion de la figure 10,
- la figure 12 illustre le basculement de molécules sur une seconde plaque sous l'effet d'un couplage hydrodynamique,
- 15 - les figures 13, 14 et 15 schématisent l'orientation azimuthale des molécules et le couple azimuthal obtenu sous l'effet du couplage hydrodynamique pour différentes orientations relatives entre les directions d'ancrage facile,
- la figure 16 schématise la structure obtenue lorsqu'un seul ancrage est cassé,
- 20 - la figure 17 schématise deux plaques superposées possédant des directions d'orientation facile tournées l'une par rapport à l'autre,
- la figure 18 illustre schématiquement une cellule conforme à la présente invention,
- la figure 19 représente schématiquement un écran matriciel conforme à 25 la présente invention,
- les figures 20, 21 et 22 représentent schématiquement trois types de signaux électriques de commande,
- les figures 23 et 24 représentent des courbes tension de 30 commutation/durée du champ électrique respectivement pour du 5CB pur et du 5CB dopé,
- les figures 25, 26 et 27 illustrent schématiquement trois orientations possibles de directeur nématique,
- les figures 28, 29 et 30 illustrent schématiquement trois textures possibles pour des ancrages homéotropes,

- les figures 31 et 32 illustrent schématiquement deux textures possibles pour des ancrages obliques,
- la figure 33 illustre schématiquement la commutation commandée par un champ oblique appliqué par des électrodes interdigitales,
- 5 - la figure 34 schématise une autre variante de moyens permettant d'appliquer un champ oblique de commutation basés sur la résistance des électrodes, et la figure 35 représente le schéma équivalent de ces électrodes, et
- la figure 36 illustre schématiquement la commutation commandée par un 10 effet hydrodynamique obtenu grâce à une électrode de commande auxiliaire.

On va tout d'abord décrire une mise en oeuvre préférentielle de la présente invention exploitant un couplage hydrodynamique, basée sur les études et expérimentations qui vont maintenant être exposées.

15 Les cristaux liquides nématiques peuvent former différentes textures pour des conditions d'ancrage identiques sur les deux plaques transparentes 10, 12 de confinement d'une cellule d'affichage : par exemple pour des ancrages faciles à réaliser dits "planaires" monostables, on peut obtenir les deux textures illustrées sur les figures 1a et 1b. Selon 20 la texture illustrée sur la figure 1a, les molécules 20 de cristaux liquides sont toutes parallèles entre elles dans le volume, et en surface sur les plaques 10, 12. Par contre, selon la texture illustrée sur la figure 1b, les molécules 20 de cristaux liquides présentent une structure tordue de 180°, c'est-à-dire que les molécules tout en restant parallèles aux plaques 10, 12, 25 tournent progressivement de 180°, d'une plaque 10, à l'autre 12.

Ces deux textures des figures 1a et 1b ont des propriétés optiques différentes, et pourraient être utilisées en théorie pour définir deux états, noir et blanc, de transmission de lumière polarisée, en conservant les 30 conditions d'ancrage aux surfaces sur les plaques 10, 12. On ne peut pas passer par déformation continue de l'une à l'autre (elles sont "topologiquement" différentes) ; on ne peut le faire qu'en créant des défauts qui représentent une barrière d'énergie importante devant l'agitation thermique : même si l'énergie des deux textures a et b est très différente, en l'absence de défauts, ces états peuvent être considérés 35 comme éternellement stables. Il en est de même si les défauts deviennent

immobiles en se collant aux surfaces. La façon la plus simple d'assurer la bistabilité des deux textures de torsion différente est bien connue de l'homme de l'art : elle consiste à cholesteriser le cristal liquide nématique sur une torsion spontanée intermédiaire entre celle des deux textures.

5 La multiplicité des textures correspondant à des ancrages monostables définis est une propriété générale des cristaux liquides nématiques ou cholestériques. Parmi ces textures, l'homme de l'art sait en choisir deux d'énergies voisines, mais de propriétés optiques différentes.

10 La présente invention vise à commander la transition entre ces deux textures, pour permettre la réalisation de pixels stables, donc des afficheurs à cristaux liquides bistables.

15 On reste pour l'instant avec les ancrages planaires. On sait (voir document [1]) que l'on peut "casser" les ancrages de surface, en utilisant un champ électrique  $E$  normal aux plaques (voir figure 2) et un cristal liquide nématique d'anisotropie diélectrique positive  $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} > 0$ , qui force l'alignement le long du champ. Le champ critique pour casser l'ancrage est défini par la condition :

$$\xi_E = I$$

où  $\xi_E$  est donnée par  $K/\xi_E^2 = (\epsilon_a/4\pi) E^2$

20  $K$  est la constante élastique de courbure ( $-10^{-6}$  cgs) et  $I$  est la longueur d'extrapolation définissant l'énergie d'ancrage zénithale. Cette énergie s'écrit :

$$W_s = (1/2) (K/I) \cos^2 \theta_s \quad (\theta_s \text{ angle des molécules en surface}).$$

25 Pour des ancrages "forts",  $I \sim 1000\text{\AA}$ , on trouve  $E_s \sim 5\text{V}/\mu\text{m}$  et pour des ancrages "faibles", ( $I \sim 1\mu\text{m}$ ),  $E_s \sim 0,5 \text{ V}/\mu\text{m}$ . Pour  $E$  croissant et s'approchant de  $E_s$ , l'angle en surface  $\theta_s$  passe rapidement de  $90^\circ$  à  $0$ . Au-dessus de  $E_s$ , l'angle  $\theta_s$  reste nul, la surface est dite "cassée". La courbe reliant  $\theta_s$  et  $E$  est illustrée sur la figure 3. Quand on applique le champ  $E$  sous forme d'une impulsion de longueur  $\tau$ , le seuil augmente quand  $\tau$  diminue (voir document [3]), mais la dynamique de surface étant rapide, on peut obtenir la brisure de l'ancrage de surface avec des tensions qui restent modérées : par exemple de l'ordre 30V, pour des temps  $\tau \sim 10\mu\text{s}$ , avec le cristal liquide 5CB à température ambiante ( $\epsilon_a \sim 10$ ). La courbe reliant le seuil  $E_s$  et la durée  $\tau$  de l'impulsion est illustrée sur la figure 4.

Quand les deux ancrages de surface sont cassés, la texture de la cellule est uniforme (comme illustré sur la figure 2), et n'a aucune mémoire de l'état initial, puisque les molécules 20 vues par le bout ne peuvent garder aucune torsion.

5 L'effet utilisé dans le cadre de l'invention pour commander les textures est un effet dynamique. Il repose sur les études et constatations suivantes.

10 Supposons d'abord qu'on ait cassé les deux ancrages des plaques 10 et 20 comme expliqué précédemment ; si l'on baisse lentement le champ électrique, à chaque instant, le système va choisir son état de moindre énergie, pour définir une texture lentement variable.

15 A partir de l'orientation homéotrope illustrée sur la figure 2, sous champ électrique, en champ nul, ces textures vont toujours vers l'état non tordu illustré sur la figure 5d, d'orientation planaire, en passant par une situation intermédiaire illustrée sur les figures 5b et 5c où les molécules sur les deux surfaces des plaques 10, 12 tournent dans la même direction, en restant parallèles. Ceci provient d'une interaction élastique entre les plaques 10, 12, qui minimise la courbure et l'énergie de courbure du système.

20 En revanche, si l'on coupe brutalement le champ électrique l'effet obtenu est très différent comme illustré sur la figure 6.

Les effets dynamiques sont contrôlés par deux temps caractéristiques : celui du volume  $\tau_v$  et celui de la surface  $\tau_s$ .  
 25  $\tau_v$  est donné universellement par l'élasticité de courbure sur l'épaisseur  $d$  de l'échantillon, comme :

$$1/\tau_v = K/d^2\eta \text{ où } \eta \text{ est une viscosité } (\eta=0.1 \text{ ou } 1 \text{ poise}).$$

$\tau_s$  est donné par la même formule, où  $d$  est remplacé par la longueur d'extrapolation de surface  $l$ .

$$1/\tau_s = K/l^2\eta.$$

30 Comme  $l \ll d$ ,  $\tau_s$  est très inférieur à  $\tau_v$  ; typiquement, pour  $d = 1\mu$ , et  $l \sim 1000\text{\AA}$ ,  $\tau_v = 1 \text{ ms}$  et  $\tau_s = 10\mu\text{s}$ .

35 Quand on relâche le champ  $E$ , les molécules sur les deux surfaces tournent rapidement pendant leur temps  $\tau_s$ , les molécules en volume restant quasi immobiles. À cette échelle de temps, le couplage élastique entre les plaques 10 et 12 est négligeable, mais il existe un couplage

hydrodynamique. A la rotation des molécules est associé un courant de masse (voir document [22]). Ce courant existe près de chaque plaque, sur une épaisseur  $\sim l$ . Sa vitesse  $V$  est environ  $V = l / \tau_s$ . Un tel courant est schématisé sur la figure 7.

- 5 Supposons que la plaque 12 ait un seuil  $E_{s12}$  supérieur à celui  $E_{s10}$  de la plaque 10. Dans ce cas, les molécules 20 adjacentes à la plaque 12 tendent à revenir à l'état planaire avant les molécules adjacentes à la plaque 10. Et le retour des molécules de surface adjacentes à la plaque 12, de l'orientation  $\theta_s = 0$  à l'orientation stable  $\theta_s = 90^\circ$  (dite planaire) produit  
10 un cisaillement d'écoulement  $V$  localisé sur  $l$  comme schématisé sur la figure 8.

Ce cisaillement diffuse sur l'épaisseur de la cellule  $d$  dans un temps classiquement donné par la relaxation des tourbillons (équation de Navier-Stokes en hydrodynamique) par :

$$15 \quad 1/\tau_D = \eta/d^2\rho \text{ où } \rho \text{ est la masse spécifique } (\rho - 1).$$

Si  $\tau_D < \tau_s$ , l'information du basculement sur la plaque 12 arrive sur la plaque 10 pendant son basculement, et les deux plaques 10 et 12 sont couplées hydrodynamiquement. Cet effet hydrodynamique est transitoire et ne dure que le temps de basculement  $\tau_s$ .

- 20 Pendant le temps de diffusion  $\tau_D$ , le profil de vitesse s'allonge de la plaque 12 vers la plaque 10. L'amplitude de vitesse devient  $v \sim Vl/d$ , puisque on répartit le mouvement de la tranche  $l$ , vers la tranche  $d$ . Il apparaît sur la plaque 10 un gradient de vitesse  $v/d$  qui entraîne le basculement des molécules de la plaque 10 dans la direction de  $v$ .

- 25 Le couplage hydrodynamique entre les basculements de surface des deux plaques 10, 12 peut être assez fort (ceci sera explicité par la suite). Alors, la situation de basculement favorisée est toujours celle de la figure 9, où les molécules sur les deux surfaces tournent en sens opposé, et où le courant hydrodynamique total  $v$  est uniforme dans la cellule, pour minimiser la friction. On obtient donc toujours une rotation de  $180^\circ$  entre les orientations des deux plaques 10, 12. Cette rotation peut être une flexion comme illustré sur la figure 10, généralement instable, qui se transforme en une torsion de  $180^\circ$  d'énergie élastique plus faible, donc une texture tordue comme illustré sur la figure 11.

Si le couplage hydrodynamique est faible, on pourrait obtenir au hasard l'une ou l'autre des textures a ou b illustrées sur la figure 1, mais à cause de l'interaction élastique, la texture uniforme est généralement obtenue.

5 L'influence de la force du couplage va maintenant être explicitée.

Supposons que la plaque 12 a un seuil  $E_s$  plus élevé que la plaque 10. Si après avoir appliqué ce champ  $E_s$  pour casser les ancrages, on baisse le champ E brutalement à zéro, la plaque 12 voit ses molécules 10 tourner rapidement pendant  $\tau_s$  et créer le cisaillement  $v/d$  sur la plaque 10, avec

$$\tau_D < \tau_s$$

Pour diverses raisons (couplage élastique, hysteresis, etc ...), les molécules sur la plaque 10 peuvent vouloir tomber de la direction  $\theta_s=0$  vers 15 la position stable planaire  $\theta_s=90^\circ$  en restant parallèles aux molécules qui tournent sur la plaque 12 (direction  $\omega_a$ ). Si ce mouvement continue, il va donner une texture finale uniforme. Le cisaillement de gradient de vitesse  $v/d$  donne en volume une densité de couple  $\eta v/d$  sur les molécules. La somme de ces couples de volume est un couple de surface ( $\eta v/d$ )  $d -\eta v = \eta$  20  $Vl/d$  qui va faire tourner les molécules de surface dans le sens  $\omega_H$  comme illustré sur la figure 12.

Pour obtenir le basculement qui crée une structure tordue comme illustré sur la figure 11, le couple de surface ainsi obtenu doit donc être supérieur au couple d'ancrage qui fait tourner dans la direction  $\omega_a$  25 (figure 12).

Cette condition est :

(K/l)  $\theta_s < \eta Vl/d$ : En remplaçant V par  $l/\tau_s$ , avec  $l/\tau_s = K/l^2\eta$ , on obtient :  $\theta_s < l/d$

30  $\theta_s$  est de l'ordre de la variation d'angle pendant le temps  $\tau_D$ , donc de l'ordre de  $\tau_D/\tau_s = (K\rho/\eta^2) (d^2/l^2)$ . La condition devient :  $d/l < (\eta^2 / K\rho)^{1/3}$  avec  $\eta = 0,1$  poise, on a :  $d < 20 l$ . Si  $l \sim 1000\text{\AA}$ ,  $d$  doit être inférieur à  $2 \mu\text{m}$ . Cependant, comme  $d=2\mu\text{m}$  est l'épaisseur type des échantillons, cette condition est parfois un peu délicate à réaliser. Il faudrait utiliser des ancrages faibles, avec un temps de réponse plus long.

Dans le cadre de l'invention, on considère que de préférence, l'épaisseur  $d$  de la cellule doit être inférieure à  $5\mu\text{m}$ .

Il est donc proposé dans le cadre de l'invention, une méthode de couplage hydrodynamique des ancrages plus efficace, et qui fonctionne pour les ancrages forts.

Jusqu'à présent, seul l'ancrage zénithal en  $\theta_s$ , qui est généralement plus fort a été pris en compte. Mais il existe aussi une direction privilégiée azimutale sur les plaques qui s'orientent "planaires" dans une direction définie. Appelant  $\varphi$  l'angle azimutal des molécules par rapport à cette direction, l'énergie de surface doit s'écrire :

$$W_s = (1/2) (K/l) \cos^2 \theta_s + (1/2) (K/L) \sin^2 \theta_s \sin^2 \varphi.$$

où  $L$  est la longueur d'extrapolation définissant l'énergie d'ancrage azimutale  $K/L$ .

En général, le terme azimutal a une amplitude d'un ordre de grandeur plus faible (voir document [1]) que le terme zénithal :  $L$  est d'un ordre de grandeur supérieur à  $l$ . Si l'on regarde la plaque inférieure 10 en vue de dessus, on suppose que les molécules de surface se sont inclinées d'un angle  $\theta_s$ , après le temps  $\tau_D$  comme illustré sur la figure 13.

Si la direction planaire sur la plaque 10 est  $P$ , les molécules peuvent prendre les deux états possibles  $P_1$  et  $P_2$  sur celle-ci. Pour forcer les molécules à tomber sur l'état  $P_2$  qui donnera le demi-tour et non l'état  $P_1$ , il suffit de déplacer l'extrémité  $m$  de la molécule de l'autre côté de  $yy'$ , médiatrice de  $P_1, P_2$  (figure 13). Pour ce faire, au lieu de changer  $\theta_s$  en déplaçant  $m$  le long de  $P_1 P_2$ , il est plus efficace de tourner  $m$  à  $\theta_s$  constant, sur le cercle  $C$  (figure 13). Il suffit pour cela de tourner la direction d'ancrage facile de la plaque supérieure 10 d'un angle  $\alpha$  par rapport à  $P_1 P_2$ . La vitesse  $v$  est dans la direction  $\alpha$  et produit un alignement final  $f$ . Le couple exercé par le gradient de vitesse transitoire est maintenant équilibré par la seule réaction de l'énergie d'ancrage azimutal, la condition des couples s'écrit ici pour  $\theta_s$  petit :

$$K/l \theta_s^2 < K/d \theta_s.$$

La condition à réaliser est maintenant :  $\theta_s < L/d$ . Comme  $L$  est un ordre de grandeur plus grand que  $l$ , la condition de couplage est plus facile à réaliser. On trouve finalement :  $d_\varphi = d_\theta (L/l)^{1/3} > d_\theta$ .

Il existe un angle optimal de rotation  $\alpha$  des deux plaques. Si  $\alpha$  est très petit, on va basculer très près de P2 (à  $180^\circ - \alpha \sim 180^\circ$ ), mais on aura du mal à exercer le couple initial de rotation azimutale : le système préférera changer  $\theta_s$  avec moins d'efficacité, comme illustré sur la figure 14. En revanche, si  $\alpha$  est voisin de  $90^\circ$ , on obtiendra le couple azimutal le plus fort possible, comme illustré sur la figure 15 mais la rotation obtenue sera seulement de  $90^\circ$ , inefficace pour assurer le basculement, puisqu'elle place le système juste sur la ligne d'égale énergie entre P1 et P2. Il existe une valeur optimale qui peut être autour de  $45^\circ$ , ou de  $135^\circ$  si les ancrages ont une polarité définie dans le plan, comme c'est le cas de SiO évaporé ou d'un polymère frotté unidirectionnellement.

Pour effacer un état tordu "1/2 tour" tel que schématisé sur la figure 1a, il suffit de ne "casser" qu'un seul ancrage de surface si on procède rapidement, ou de descendre lentement le champ appliqué pour découpler dans le temps les deux basculements de surface, supposés de seuils différents. On choisira dans tous les cas des traitements de surface donnant des seuils d'ancrage différents, sur les deux plaques 10, 12.

Le principe du déroulement de la torsion en 1/2 tour repose sur le phénomène suivant. Quand une des deux surfaces est cassée seulement comme schématisé sur la figure 16, ou quand on relâche successivement les deux ancrages à un intervalle de temps  $> \tau_s$ , il n'y a plus d'effet hydrodynamique de couplage : les couplages élastiques dominent, l'orientation verticale d'une surface ne peut conserver la torsion qui disparaît. La torsion en 1/2 tour est donc effacée.

Sur la base des constatations qui précédent, les inventeurs proposent de réaliser un afficheur (en fait un pixel), à l'aide de deux lames 10, 12 traitées pour donner des ancrages planaires A1 et A2 (ou à composante planaire) différents. Ces ancrages couplés à un nématique de  $\epsilon_a > 0$  ont respectivement des seuils de cassure E1 et E2. On les place à  $\alpha = 45^\circ$  l'un de l'autre comme schématisé sur la figure 17 ou à un autre angle  $\alpha$ , différent de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180$  ou de  $270^\circ$ , mais qui optimise le couplage hydrodynamique en rotation.

Cet angle  $\alpha$  est aussi choisi pour donner un bon contraste entre la texture initiale, qui est maintenant tordue de l'angle  $\alpha$ , et la texture finale dite "1/2 tour", qui est maintenant tordue d'un angle  $180^\circ - \alpha$ . Pour

inscrire, on applique une impulsion de champ électrique supérieure aux deux seuils  $E > E_1$  et  $E > E_2$ . On coupe brutalement le champ : on obtient toujours l'état  $180^\circ - \alpha$ , sous l'effet du couplage hydrodynamique, quel que soit l'état initial  $\alpha$  ou  $180^\circ - \alpha$ . Pour effacer, on applique une impulsion  $E$  comprise entre  $E_1$  et  $E_2$  en coupant rapidement l'impulsion, ou une impulsion d'intensité supérieure aux deux seuils  $E_1$  et  $E_2$ , mais dont on abaisse lentement l'amplitude, pour découpler les basculements sur les deux plaques 10, 12 ; on obtient toujours l'état  $\alpha$ , quel que soit l'état initial  $\alpha$  ou  $180^\circ - \alpha$ .

10 Les moyens d'alimentation conçus pour appliquer de telles impulsions de commande sont schématisés sous la référence 40 sur la figure 18.

15 Le contraste optique entre les deux états d'un tel pixel dépend de l'épaisseur de l'échantillon et de l'orientation des polariseurs 30 et analyseurs 32 utilisés (voir figure 18).

15 Ce problème d'optimisation est connu des spécialistes (voir document 23). En pratique, pour chaque cristal liquide et chaque cellule, on trouve une position des polariseurs 30, 32 qui donne un pixel quasi transparent pour l'un des états, et un pixel quasi noir pour l'autre état.

20 Le système de commutation décrit précédemment possède des seuils, et une mémoire quasi infinie. Il est donc en principe quasi-bistable et multiplexable à l'infini. Pour le multiplexer, il suffit dans un écran matriciel comportant des lignes et des colonnes comme schématisé sur la figure 19, d'ouvrir une ligne en lui appliquant une tension légèrement inférieure à  $V = E_1 d$ , seuil supérieur en tension de la surface la plus dure à casser. On applique sur les colonnes une tension  $\pm v$ . La tension résultante sera  $V - (\pm v) = V-v$  ou  $V+v$ .  $V-v$  est inférieur au plus grand seuil. Si on a choisi  $|v| < (E_1 - E_2)d$ ,  $V-v$  est supérieur au petit seuil et donc "efface".  $V+v$  est supérieur au grand seuil, il "inscrit". On a intérêt à choisir  $v$  le plus petit possible pour ne pas soumettre les autres lignes à une tension alternative d'amplitude ( $\pm v$ ) qui pourrait créer des instabilités d'autre type, par exemple l'instabilité de Freedericks ; on choisira  $v$  de l'ordre de 1 volt, par exemple  $v \leq 1$  volt typique pour ce faire. Le seuil le plus élevé devra donc être bien défini et uniforme. La valeur du seuil le plus faible est moins contraignante. Elle ne peut pas être trop faible pour que le

système reste rapide. En pratique, on choisira donc des ancrages donnant des valeurs de seuil en volt, voisines à 1 volt près. Comme les seuils typiques sont de l'ordre de  $10V/\mu m$  (document 1), pour une cellule de  $2\mu m$  d'épaisseur, les seuils doivent différer de 5 à 10%.

5 Pour réaliser des seuils d'ancrage et donc de tension de cassure peu différents sur les deux plaques 10, 12, on peut avoir intérêt à utiliser une même technologie de préparation des surfaces (évaporation oblique de SiO ou polymère frotté en surface par exemple) mais à jouer sur la polarité des seuils. On peut ainsi presque annuler ou amplifier une 10 différence de seuil existante faible. On peut utiliser pour cela l'effet flexoélectrique ou l'effet de transport d'ions.

15 Les deux ancrages sur les deux plaques 10, 12 jouent dans le mécanisme proposé des rôles interchangeables. Donner une différence de seuil entre les deux ancrages liée à la polarité du champ appliqué n'a de sens que si la cellule est initialement dissymétrique, avec deux champs 20 seuils différents  $E1 \neq E2$  donc deux tensions seuils différents  $V1 \neq V2$ .

Une première façon de jouer sur les seuils est d'utiliser l'effet 25 flexoélectrique qui décale les forces d'ancrages proportionnellement au champ appliqué (voir document 24). Cet effet est d'ordre relatif  $e/(K)^{1/2}$  -quelques  $10^{-1}$ , c'est-à-dire moyen ou faible.

Un effet polaire plus fort peut être obtenu avec un dopage 30 d'ions. On observe en effet une dépendance de l'énergie d'ancrage en fonction de la polarité, par l'expérience suivante :

On prend une cellule tordue à  $45^\circ$ , avec deux ancrages planaires 35 obtenus par une même évaporation de SiO. On choisit une épaisseur de cellule de  $6\mu m$ . La texture est tordue et la lumière polarisée suit cette torsion lente. On applique des impulsions électriques carrées, longues de 100 ms, de polarité définie. L'amplitude des impulsions varie de 0 à  $\pm 40V$ . Le temps long est choisi pour être sûr de transporter tous les ions de la 40 cellule d'une plaque à l'autre. La cellule contient du pentylcyanobiphényle (5CB) à température ambiante, dopé à  $10^{-3}$  mole de tétraphénylborate de sodium, qui donne deux ions :  $Na^+$  et  $TFB^-$ . On observe pendant l'application du champ l'orientation des axes propres et la biréfringence de la cellule en lumière polarisée. On peut ainsi déterminer quelle plaque 45 a cassé : les axes propres s'alignent sur la direction de l'autre plaque, et à

5 quelles valeurs du champ les deux ancrages cassent. Les résultats montrent que la surface qui attire les  $\text{Na}^+$  casse la première à  $V=3$  V, c'est-à-dire à  $0,5 \text{ V}/\mu\text{m}$ , un ordre de grandeur plus faible que d'habitude. L'autre plaque casse pour  $V=30$  V, c'est-à-dire pour une valeur de champ de  $5 \text{ V}/\mu\text{m}$  (quasi normale).

10 On répète l'expérience avec un autre ion. On dope maintenant le nématique avec du chlorure de tétrabutyl ammonium, qui donne deux ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{TBA}^+$ . On constate que la surface qui attire  $\text{Cl}^-$  voit baisser son seuil jusqu'à  $1,5 \text{ V}/\mu\text{m}$ . Si on dope avec le bromure de cétyltributyl ammonium, qui donne des sions  $\text{Br}^-$  et  $\text{CTBA}^+$ , on observe une baisse jusqu'à  $1 \text{ V}/\mu\text{m}$  de l'énergie d'ancre sur la surface qui attire l'ion  $\text{CTBA}^+$ .

15 L'effet des deux premiers dopages peut se comprendre par l'affinité plus grande des ions petits et minéraux pour la surface de  $\text{SiO}$ . Ces ions créent un champ électrique normal à la surface, qui diminue la force d'ancre comme si on avait appliqué un champ extérieur. Le troisième dopage s'explique par l'action des chaînes cétyl de 16 carbones. Quand le bout de chaîne chargé se colle à la surface, la chaîne induit une orientation perpendiculaire, qui diminue la force d'ancre planaire.

20 L'homme de l'art comprendra qu'un rapprochement des seuils  $E_1$ ,  $E_2$  est favorable à la procédure d'inscription, en revanche un éloignement des seuils  $E_1$  et  $E_2$  est favorable à la procédure d'effacement.

#### Exemple de réalisation

25 Les inventeurs ont réalisé un afficheur avec le cristal liquide nématique pentylcyanobiphényle (5CB) qui a une phase nématique à température ambiante et une forte anisotropie diélectrique  $\epsilon_a \sim 10 > 0$ . L'afficheur comprend des lames 10, 12 de verre traitées ITO (Indium Tin Oxyde) qui donnent des électrodes transparentes de faible résistance ( $30\Omega/\text{carré}$ ). Celles-ci sont traitées par évaporation oblique de  $\text{SiO}$ , avec un angle d'évaporation de  $75^\circ$ , presque rasant, et des épaisseurs vraies de  $25\text{\AA}$  et  $30\text{\AA}$ , connues pour donner un ancre planaire, de force d'ancre légèrement différentes (document 25). La cellule possède une épaisseur  $d=1,5\mu\text{m}$ , avec une rotation  $\alpha=45^\circ$ . La géométrie des orientations de la cellule est montrée sur la figure 18.

30 Cette cellule a permis d'obtenir pour la texture  $45^\circ$  une couleur jaune clair et une forte intensité transmise. Pour l'état  $180^\circ - \alpha = 135^\circ$ , une

intensité transmise faible, de couleur bleu très foncé, presque noire a été obtenue.

Pour tester le modèle, les inventeurs ont appliqué au système des impulsions carrées de longueur fixe 300  $\mu$ s et d'amplitude variable V de 0 à 40 volts. Le temps de descente était inférieure à 1  $\mu$ s. Un basculement clair vers foncé (blanc vers noir) a été obtenu à V=24,5 volts. En partant d'un état noir, les inventeurs ont toujours obtenu un état noir avec ces mêmes impulsions. Les inventeurs ont ensuite appliquée une impulsion de même polarité sur cet état noir, mais d'amplitude 21,5 volts. Une transition noir vers blanc, correspondant à un effacement a été obtenu. Ces mêmes impulsions de 21,5 volts laissent inchangé un état initial blanc. L'état final du système ne dépend donc que de l'amplitude de V, à même polarité. Ce comportement est expliqué par les inventeurs par le fait que l'un des seuils est un peu inférieur à 24,5 V et l'autre inférieur à 21,5 V.

Pour vérifier que le comportement du système est contrôlé par la seule décroissance finale du signal de commande, les inventeurs ont réalisé les expériences suivantes :

En premier lieu, les inventeurs ont utilisé des impulsions dont le front avant est linéaire en temps comme illustré sur la figure 20.

Plus précisément, les inventeurs ont choisi une durée de palier  $\tau = 100 \mu$ s et on fait varier le temps de montée du front avant  $\tau'$  de 0 à 300 $\mu$ s. Avec  $\tau'=0$ , le système passe la transition blanc vers noir à V = 25 volts (ou noir vers noir si l'état initial est noir). Dans toute la plage utilisée pour  $\tau'$ , le comportement ne change pas, le seuil reste à 25 volts  $\pm 0,5$  volt. Ceci montre que seules l'amplitude et la descente d'impulsion sont efficaces.

En second lieu, les inventeurs ont utilisé des impulsions dont la descente est linéaire en temps comme illustré sur la figure 21. Pour des temps de descente de  $0 < \tau' < 30\mu$ s le comportement reste inchangé. Au-delà, pour  $30 < \tau' < 300\mu$ s, on obtient un effacement noir vers blanc en partant du noir et blanc vers blanc en partant du blanc. Pour  $\tau=100\mu$ s et  $\tau'=0$ , on trouve un seuil V = 25 volts. Ce comportement confirme que seule la descente lente de l'impulsion est efficace pour un effacement. En descendant linéairement, on décale dans le temps le déclenchement des deux seuils. Avec les valeurs 21 volts et 25 volts, le temps de décalage est de  $[(25-21)/25] 30\mu$ s  $\sim 5\mu$ s.

Cette valeur est la valeur estimée du temps de basculement de surface.

Pour bien isoler les deux seuils dans une même expérience, les inventeurs ont utilisé ensuite une impulsion de forme bicarrée d'amplitudes  $V$  et  $V'$  et de durées  $\tau$  et  $\tau'$ , comme illustré sur la figure 22.

Les inventeurs ont choisi  $\tau = 1$  ms pour être sûr que le système ne se déclenche que sur la descente sans mémoire d'effet antérieur. Avec  $V'=0$ , un déclenchement blanc vers noir ou noir vers noir a été obtenu à  $V=22$  volts.

10 Les inventeurs ont ensuite choisi  $V=30$  volts pour être largement au-dessus du seuil. Et en prenant  $\tau' = 0,5$  ms, ils ont fait varier  $V'$ . Pour  $30$  volts  $> V' > 20$  volts, l'inscription noire a été conservée. Pour  $20$  volts  $> V' > 7$  volts, par contre le système devient un compteur binaire, c'est-à-dire qu'il produit des commutations blanc vers noir ou noir vers blanc. Entre zéro et  $7$  volts pour  $V'$ , on retrouve l'inscription noire bien définie.

Les inventeurs ont ensuite changé la polarité de  $V'$  en gardant celle de  $V$ . Le même comportement a été observé :

- $30$  volts  $< V' < -20$  volts : inscription du noir
- 20 -  $20$  volts  $< V' < -7$  volts : régime "compteur"
- $7$  volts  $< V' < 0$  volt : inscription du noir.

En l'état de leurs travaux, les inventeurs expliquent le régime compteur par un effacement incomplet : le système se souvient de l'état initial.

25 Le résultat important de cette expérience est que pour  $V'=-V$ , on obtient l'inscription ; ceci est aussi vérifié pour  $\tau' = \tau = 1$  ms. Les inventeurs ont donc montré qu'une commande en courant alternatif était possible.

Les inventeurs ont mesuré  $V(\tau)$  pour l'échantillon précédent.  
30 Ils ont observé sur du 5CB pour la courbe de  $V$  inscription ( $\tau$ ) illustré sur la figure 23. Ce comportement inscription/effacement à polarité fixée est satisfaisant jusqu'à  $\tau=150\mu s$ . Pour des temps plus courts, on observe un régime "compteur".

Pour améliorer ce comportement, les inventeurs ont ensuite  
35 utilisé un cristal liquide 5CB dopé à  $10^{-3}$  molaire de  $Na^+ TFB^-$ , d'épaisseur

1,5 $\mu$ m. Ils ont utilisé des impulsions positives pour l'inscription et négatives pour l'effacement. Ils ont obtenu alors un régime contrôlé d'inscription et d'effacement jusqu'à 10 $\mu$ s, à des tensions de 30 et 38 volts comme illustré sur la figure 24. A 30 $\mu$ s l'effacement et l'inscription ont été obtenu pour 22 et 26 volts.

En lumière blanche, les inventeurs ont obtenu un contraste de 20 entre les deux états.

Bien entendu la présente invention n'est pas limitée au mode de réalisation particulier qui vient d'être décrit mais s'étend à toute variante conforme à son esprit.

En particulier, la présente invention n'est pas limitée à l'utilisation de cristaux liquides nématiques. Elle s'étend également à l'utilisation de cristaux liquides de type cholestérique.

En outre, la commutation par couplage hydrodynamique n'est pas limitée à l'utilisation d'ancrages planaires sur les plaques. Elle peut s'étendre à des ancrages homéotropes, voire obliques.

Par ailleurs, d'une façon plus générale, comme on l'a indiqué précédemment, l'invention n'est pas limitée à l'exploitation d'une commutation par couplage hydrodynamique, mais s'étend à tous dispositifs à ancrage monostable, comprenant des moyens aptes à assurer sur commande une cassure de l'un au moins des ancrages et à induire ensuite un effet bistable en volume.

En outre l'invention s'applique à un grand nombre de textures possibles.

On sait que les traitements appliqués sur chacune des plaques 10, 12 d'une cellule cristal liquide peuvent être adaptés pour imposer une direction d'ancrage planaire (directeur nématique parallèle aux plaques voir figure 25), homéotrope (directeur nématique perpendiculaire aux plaques voir figure 26) ou inclinée (directeur nématique oblique par rapport aux plaques voir figure 27).

Avec deux de ces plaques arbitraires, on peut définir plusieurs textures avec une seule direction d'ancrage des molécules sur chaque plaque.

Par exemple, pour deux ancrages planaires on peut réaliser une texture planaire uniforme comme illustré sur la figure 1a ou des

structures tordues, à gauche ou à droite, d'un demi-tour comme illustré sur la figure 1b, voire plusieurs demi-tours, le directeur nématicque restant dans ce cas parallèle aux plaques mais tournant progressivement autour d'un axe perpendiculaire à celles-ci, ou encore des structures fléchies 5 comme schématisées sur la figure 10 pour lesquelles le directeur nématicque ne reste pas parallèle aux plaques mais s'incline progressivement par rapport à celles-ci.

Pour deux ancrages homéotropes, on peut obtenir une texture uniforme homéotrope (figure 28) ou des textures fléchies d'un (figure 29) 10 ou plusieurs demi-tours. Ces textures fléchies peuvent en plus être tordues (figure 30).

D'une façon générale avec deux ancrages monostables de surface selon deux directions arbitraires, on peut obtenir des textures différentes : une texture simple qui raccorde directement par une torsion 15 simple et une flexion simple les deux directions d'ancrage arbitraires, comme illustré sur la figure 31, et des textures qui diffèrent de celle-ci en ajoutant un ou plusieurs demi-tours en passant d'une surface à l'autre, comme schématisé sur la figure 32.

Sur les figures annexées 28 à 32, on a schématisé le directeur 20 nématicque sous forme d'une flèche.

On voit en comparant les figures 28 et 29 ou 30, 31 et 32 que les flèches correspondantes sur les deux plaques sont opposées. Physiquement, comme l'interaction du cristal liquide nématicque et de la 25 surface n'est pas polaire, les directions opposées des deux flèches sont équivalentes pour la surface. Ces flèches par contre permettent de bien visualiser les différences de textures de volume, tournées par exemple d'un demi-tour entre les figures 28 et 29 ou 30, 31 et 32. Il en serait de même pour les figures 1a et 1b.

Et ces différentes textures correspondant à une même direction 30 d'ancrage possèdent des propriétés optiques différentes, qui permettent de les distinguer optiquement et de les utiliser comme l'un des deux états d'un pixel d'afficheur noir et blanc.

Comme indiqué précédemment, la commutation entre les différentes textures est opérée après avoir cassé l'ancrage de surface.

On a illustré sur la figure 3, la variation de l'angle  $\theta$  d'une molécule de surface d'ancrage planaire en fonction d'un champ électrique  $E$  appliqué.

Au-dessus de  $E_s$ , les molécules de surface sont dans une situation où l'énergie élastique d'interaction avec la surface est maximale. Si on coupe le champ  $E$ , les molécules de surface vont retomber dans l'orientation planaire initiale, mais elles peuvent choisir deux chemins différents. Sur la figure 3, ces deux chemins correspondent à la bifurcation au-dessous de  $E_s$  entre les angles positifs et négatifs. Les deux états finaux  $\theta = \pm 90^\circ$  sont identiques pour la surface comme expliqué précédemment. Ils donnent cependant des textures différentes dans le volume : la rotation supplémentaire de  $180^\circ$  correspond à une texture tordue d'un demi-tour par rapport à la texture initiale. Si la distorsion reste dans le plan de la figure, on obtient une texture fléchie de  $180^\circ$  (figure 10). Généralement, la torsion étant plus facile que la flexion, la flexion de  $180^\circ$  se transforme continuellement en torsion de  $180^\circ$  sur la figure 1b.

Les moyens de commutation aptes à induire un effet bistable, après cassure de l'ancrage, ont pour fonction de contrôler la bifurcation de l'orientation  $E_s$ , afin d'obtenir au choix l'une ou l'autre des deux textures bistables correspondantes.

Plus généralement, pour toute texture bistable évoquée précédemment obtenue par le jeu des angles, des constantes élastiques, et du pouvoir torseur correspondant au même ancrage sur une plaque et à deux ancrages différents d'un demi-tour pour l'autre, il existe pour l'énergie de surface sur la deuxième plaque une ligne de séparation analogue à la bifurcation déjà décrite.

La cassure de l'ancrage a pour but d'amener les molécules de surface au voisinage de cette ligne de séparation par un champ électrique fort.

Et les moyens de commutation ont pour fonction par un petit effet extérieur, de contrôler le déplacement du système de part et d'autre de la ligne de séparation. Les deux directions résultantes sont équivalentes pour la surface, mais conduisent à l'une ou l'autre des deux textures bistables.

Pour casser les surfaces, on choisira des moyens appropriés : si le champ est perpendiculaire aux plaques, pour casser un ancrage planaire, il faut un cristal liquide d'anisotropie diélectrique positive pour que les molécules s'alignent parallèlement au champ ; pour casser un ancrage homéotrope, il faut un matériau d'anisotropie diélectrique négative.

On notera qu'une propriété importante et générale des cassures de surface est leur rapidité : les temps de relaxation correspondants sont dans la gamme des microsecondes. Ils sont indépendants de l'épaisseur des 10 cellules nématiques.

On va maintenant décrire différents moyens permettant d'assurer une commutation entre les différentes textures possibles, c'est-à-dire permettant de contrôler la bifurcation de l'orientation à  $E_s$ .

Supposons un ancrage planaire cassé au-dessus de son point de bifurcation. Les molécules de surface sont perpendiculaires aux plaques. Quand on coupe le champ, les molécules retombent, selon l'un ou l'autre des deux états d'équilibre  $+90^\circ$  et  $-90^\circ$ . Les moyens de commutation ont pour fonction de contrôler la direction finale d'orientation entre ces deux états. Ils ont pour but d'appliquer un petit couple sur les molécules pour les faire basculer d'un côté ou de l'autre. Ce couple peut être appliqué soit en même temps que le champ de cassure soit juste après, mais il doit agir tant que les molécules restent proche de la ligne de séparation.

Une première voie pour générer un tel couple consiste à appliquer un champ électrique latéral sur la cellule.

Un tel champ latéral peut lui-même être obtenu de plusieurs 25 façons.

Selon une première variante, le champ latéral peut être appliqué à l'aide d'électrodes interdigitales 50, 52 sur l'une des plaques 10, faisant face à la plaque 12 dont l'ancrage est cassé comme schématisé sur 30 la figure 33. Le champ moyen reste appliqué entre les deux plaques 10, 12 du haut et du bas. Le champ latéral donne une petite composante oblique au champ résultant. Suivant son signe, on obtient les champs obliques  $E_1$  ou  $E_2$ .

L'application de  $E_1$  ou de  $E_2$  décalés d'un angle faible autour de la normale, permet de contrôler la retombée sur les états planaires 1 ou 2, identiques pour la surface, mais différents pour la texture.

5 Selon une seconde variante, le champ latéral peut être appliqué grâce à des électrodes prévues sur le chant de la cellule.

Selon une troisième variante, le champ latéral peut résulter de la résistance des électrodes transparentes elle-même prévues sur les plaques 10, 12. Comme illustré sur la 34, l'une des électrodes 60 possède dans ce cas, au moins un bord 62, de préférence deux bords 62, plus 10 conducteurs que sa partie centrale 64. Le signal électrique  $V$  nécessaire pour casser l'ancrage diffuse le long du circuit RC constitué par la résistance de surface  $R$  et de la capacité  $C$  du cristal liquide (voir figures 34 et 35). A haute fréquence, il est atténué rapidement, le pixel apparaît comme un bord d'électrode, donnant un champ oblique. A basse 15 fréquence, il n'y a pas d'atténuation, le champ est vertical. Ce mécanisme est décrit dans le document FR-A-86 06916. On obtient un champ incliné dans les deux directions en utilisant des pixels à double commande latérale : on applique le signal  $V_1$  ou  $V_2$  sur l'un ou l'autre des bords très 20 conducteurs de l'électrode semi-transparente du pixel.  $V_1$  donne l'orientation à droite,  $V_2$  à gauche.

Une seconde voie pour générer le couple d'orientation précité consiste à exploiter un effet hydrodynamique.

Dans ce cas au moment du retour à l'équilibre, on génère un petit cisaillement  $v$  entre la plaque d'ancrage cassé et le nématique.

25 Ceci peut s'obtenir par un déplacement mécanique de tout ou partie de la plaque, sous l'effet d'un système piezoélectrique par exemple, ou encore sous l'effet d'ondes sonores.

Le nématique est sensible au gradient de vitesse près de la plaque et tombe suivant le sens de  $v$  ( $v_1$  ou  $v_2$ ) d'un côté ou de l'autre de la 30 bifurcation.

Le cisaillement  $v$  peut aussi être produit par un écoulement entre les deux plaques, produit par une source quelconque, par exemple par simple appui sur l'écran perpendiculairement aux plaques.

Le système constitue alors un détecteur de pression. Il peut servir à écrire sur un écran, en transformant la pression en propriété électrique liée à l'une des deux textures bistables.

Une autre variante consiste à exploiter l'écoulement de cisaillement provoqué par le basculement de certaines molécules. C'est l'effet inverse de l'effet précédent, où un cisaillement contrôle un basculement.

On peut utiliser pour cela par exemple une électrode de commande linéaire c à côté d'un pixel carré (figure 36).

10 En c l'ancrage est par exemple oblique, en P il est planaire.

Sous l'effet d'un champ appliqué au pixel, on casse l'ancrage P.

Si l'on applique un champ de commande E' sur l'électrode latérale, au moment où on coupe le champ E, l'écoulement v' associé à la réorientation de c sous l'effet de E' fait basculer l'orientation du pixel P vers l'état 1.

Si au contraire on applique le champ E' en même temps que E, et si on le coupe aussi en même temps, l'écoulement provoqué par E' est en sens inverse -v', et le pixel bascule dans l'état 2.

20 Une autre variante qui exploite un couplage hydrodynamique et consiste à casser deux ancrages face à face a été décrite précédemment.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de contrôle de bifurcation décrits précédemment dans la géométrie planaire, et devenant homéotropes après cassure.

En effet, comme on l'a évoqué, l'invention s'applique également 25 au contrôle de bifurcations dans des géométries homéotropes ou inclinées au repos.

En outre, le basculement peut se faire à deux dimensions, en faisant intervenir non seulement l'angle zénithal de surface  $\theta$ , mais également l'angle azimutal  $\phi$ , comme on l'a décrit précédemment dans le 30 cas du couplage hydrodynamique. La rotation de  $\theta$  égale  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$  peut aussi se comprendre comme une simple rotation de  $\phi$  de  $180^\circ$ . Ceci est important pour les couplages avec les champs électriques latéraux ou les écoulements hydrodynamiques latéraux, qui ont une direction azimutale bien définie.

On notera en outre que la commutation peut être opérée sur toute la surface d'un pixel à la fois, pour former un afficheur noir et blanc, ou sur une partie variable de ce pixel, pour former un afficheur à teinte de gris.

- 5           La commande d'une partie variable seulement d'un pixel peut être obtenue soit par un champ de cassure non uniforme, sur celui-ci, soit par des moyens de contrôle non uniformes de la bifurcation.

On notera enfin que dans certaines configurations, les moyens de cassure d'ancrage et les moyens aptes à induire un effet bistable en volume, précédemment décrits, peuvent être utilisés avec des ancrages multistables, par exemple bistables, et non pas seulement monostables.

- 10           [22] P.G. de Gennes, "The Physics of Liquid Crystals", Clarendon Press, Oxford 1974.

15           [23] Journal of Applied Physics, vol. 64, n° 2, pp 614-628, 1988, "Origin and characteristics of the optical properties of general twisted nematic liquid crystal displays", H.L. Ong.

[24] Journal de Physique Lettres, vol. 46, pp L195-L200, 1985, "Linear flexo-electro-optic effect in a hybrid aligned nematic liquid crystal cell", N.V. Madhusudana and G. Durand.

- 20           [25] Europhysics Letters, vol. 5, n° 8, pp 697-702, 1988, "Order Electricity and Oblique Nematic Orientation on Rough Solid Surfaces", M. Monkade, M. Boix, G. Durand.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'affichage comprenant deux plaques transparentes parallèles (10, 12) munies d'électrodes transparentes sur leurs surfaces internes et contenant un matériau cristal liquide (20), caractérisé par le fait qu'il comprend :
  - des moyens définissant un ancrage monostable sur chaque plaque (10, 12),
  - des moyens (40) aptes à assurer sur commande une cassure de l'un au moins de ces ancrages, et
  - des moyens aptes à induire, suite à cette cassure, un effet bistable en volume.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les moyens de cassure d'ancrage (40) sont adaptés pour casser les ancrages sur les deux plaques (10, 12).
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que les ancrages monostables sont planaires.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que les ancrages monostables sont homéotropes.
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que les ancrages monostables sont inclinés par rapport aux plaques (10, 12).
6. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'un des ancrages est homéotrope et l'autre planaire.
7. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'un des ancrages est planaire et l'autre oblique.
8. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'un des ancrages est homéotrope et l'autre oblique.
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que les moyens de cassure d'ancrage comprennent des moyens aptes à appliquer un champ électrique.
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé par le fait que les moyens de cassure d'ancrage comprennent des moyens aptes à appliquer un champ électrique perpendiculairement aux plaques (10, 12).

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que l'ancrage est planaire et le cristal liquide possède une anisotropie diélectrique positive.

12. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que l'ancrage est homéotrope et le cristal liquide possède une anisotropie diélectrique négative.

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé par le fait que les moyens de cassure d'ancrage sont adaptés pour placer le cristal liquide dans une situation instable dans laquelle l'énergie élastique d'interaction des molécules de surface du cristal liquide avec la surface des plaques (10, 12) est maximale.

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens aptes à appliquer un champ électrique latéral sur le dispositif.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des électrodes interdigitales (50, 52) sur l'une des plaques (10) faisant face à la plaque (12) dont l'ancrage est cassé, et des moyens aptes à appliquer une tension de commande sur l'une au moins choisie, alternativement, de ces électrodes.

16. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent au moins une électrode (60) possédant au moins un bord (62) plus conducteur que sa partie centrale (64).

17. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des électrodes, sur le chant du dispositif.

18. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens aptes à générer un effet hydrodynamique.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens aptes à générer un cisaillement entre la plaque d'ancrage cassée et le cristal liquide.

20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens aptes à opérer un déplacement mécanique d'une partie au moins de la plaque, par exemple à l'aide d'un système piézo-électrique ou à l'aide d'ondes sonores.

21. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens aptes à assurer une sollicitation transversale mécanique sur les plaques.

10 22. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens comportant une électrode auxiliaire (c) placée à côté d'une électrode (p) définissant un pixel.

15 23. Dispositif selon la revendication 22, caractérisé par le fait que l'ancrage est oblique sur l'électrode auxiliaire (c) et il est prévu des moyens aptes à appliquer sélectivement un champ de commande sur l'électrode auxiliaire au moment où on coupe le champ électrique sur l'électrode (p) de pixel ou un champ de commande sur l'électrode auxiliaire en même temps que le champ électrique sur l'électrode (p) de 20 pixel.

24. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé par le fait que les moyens aptes à induire un effet bistable en volume comprennent des moyens définissant un couplage hydrodynamique entre les deux plaques (10, 12).

25 25. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 24, caractérisé par le fait que les moyens de cassure d'ancrage et de commutation bistable en volume sont adaptés pour commander de façon homogène toute la surface d'un pixel.

30 26. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 24, caractérisé par le fait que l'un au moins des moyens de cassure d'ancrage et de commutation bistable en volume est adapté pour commander une partie variable d'un pixel.

27. Dispositif selon la revendication 19 ou 24, caractérisé par le fait que :

35 - les plaques (10, 12) définissent des seuils d'ancrage différents,

- l'épaisseur du dispositif entre les deux plaques (10, 12) est suffisamment faible pour permettre un couplage hydrodynamique entre les surfaces internes de celles-ci, et
  - il est prévu des moyens (40) aptes à appliquer entre les électrodes des deux plaques alternativement une impulsion de champ électrique d'écriture supérieure à un seuil apte à casser les ancrages sur les deux plaques (10, 12) pour définir, après interruption de ce champ électrique, un premier état stable tordu résultant d'un couplage hydrodynamique entre les deux plaques (10, 12) et un deuxième champ électrique inférieur audit seuil apte à casser un seul ancrage ou à front descendant variant lentement pour découpler les basculements sur les deux plaques, afin de définir un second état stable homogène.
28. Dispositif selon la revendication 27, caractérisé par le fait que le matériau cristal liquide (20) est un cristal liquide nématique.
29. Dispositif selon la revendication 27, caractérisé par le fait que le matériau cristal liquide (20) est un cristal liquide cholestérique.
30. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 29, caractérisé par le fait que le matériau cristal liquide (20) possède une anisotropie diélectrique positive.
31. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 30, caractérisé par le fait que l'épaisseur (d) du matériau cristal liquide est inférieure à  $l/\theta_s$ , relation dans laquelle :
- $l$  représente la longueur d'extrapolation définissant l'énergie d'ancrage zenithal, et
- $\theta_s$  représente l'angle des molécules en surface.
32. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 31, caractérisé par le fait que l'épaisseur (d) du matériau cristal liquide respecte la relation :  $d/l < (\eta^2 / K\rho)^{1/3}$  dans laquelle :
- $l$  représente la longueur d'extrapolation définissant l'énergie d'ancrage zenithal,
- $\eta$  représente une viscosité,
- $K$  est la constante élastique de courbure, et
- $\rho$  est la masse spécifique.

33. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 32, caractérisé par le fait que l'épaisseur du matériau cristal liquide est inférieure à  $L/\theta_S$ , relation dans laquelle L représente la longueur d'extrapolation définissant l'énergie d'ancrage azimuthal et  $\theta_S$  représente l'angle des molécules en surface.

5           34. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 33, caractérisé par le fait que l'épaisseur (d) du matériau cristal liquide (20) est inférieure à  $5\mu\text{m}$ .

10          35. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 34, caractérisé par le fait que les directions d'ancrage facile sur les deux plaques (10, 12) sont non parallèles entre elles.

15          36. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 34, caractérisé par le fait que les directions d'ancrage facile sur les deux plaques (10, 12) sont parallèles entre elles.

20          37. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 34, caractérisé par le fait que les directions d'ancrage facile sur les deux plaques (10, 12) sont orthogonales entre elles.

25          38. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 36, caractérisé par le fait que les directions d'ancrage facile sur les deux plaques (10, 12) sont non orthogonales entre elles.

30          39. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 38, caractérisé par le fait que les directions d'ancrage facile sur les deux plaques (10, 12) sont tournées d'environ  $45^\circ$  ou  $135^\circ$ .

40. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 39, caractérisé par le fait qu'il est conformé en écran matriciel comportant des lignes et des colonnes et que les moyens d'alimentation (40) sont adaptés pour ouvrir une ligne en lui appliquant une tension légèrement inférieure à  $V=E_{10}d$ , seuil supérieur en tension de la surface la plus dure à casser et pour appliquer sur les colonnes une tension  $\pm v < \pm |E_1-E_2|d$  soit une tension inférieure à l'écart en tension entre les seuils des deux surfaces.

41. Dispositif selon la revendication 40, caractérisé par le fait que la tension appliquée aux colonnes moyennée dans le temps, est inférieure au seuil de l'instabilité de Freedericksz.

42. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 41, caractérisé par le fait que les traitements de surface sur les deux plaques (10, 12) sont adaptés pour définir des seuils d'ancrage qui diffèrent de 5 à 10%.

5 43. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 42, caractérisé par le fait que les seuils d'ancrage dépendent de la polarité du champ électrique appliqué.

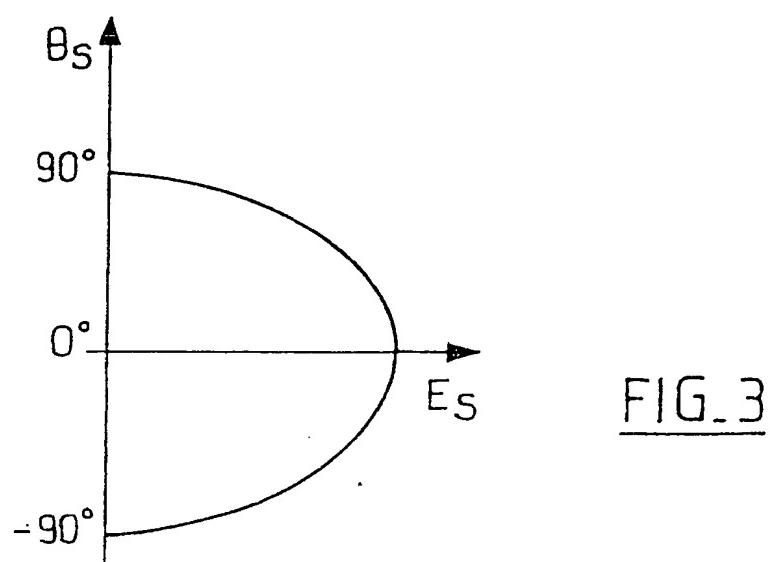
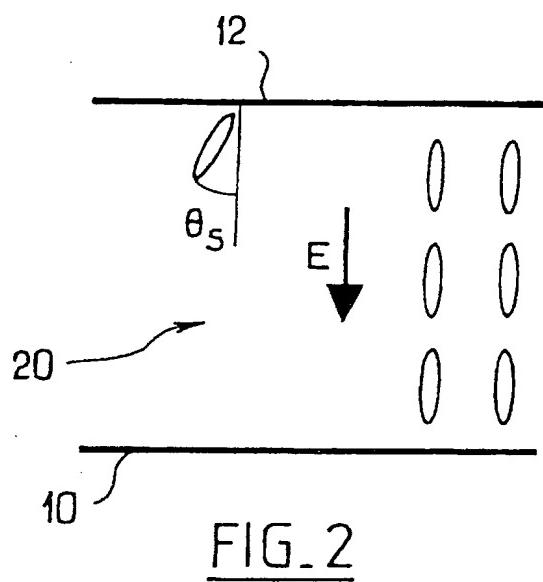
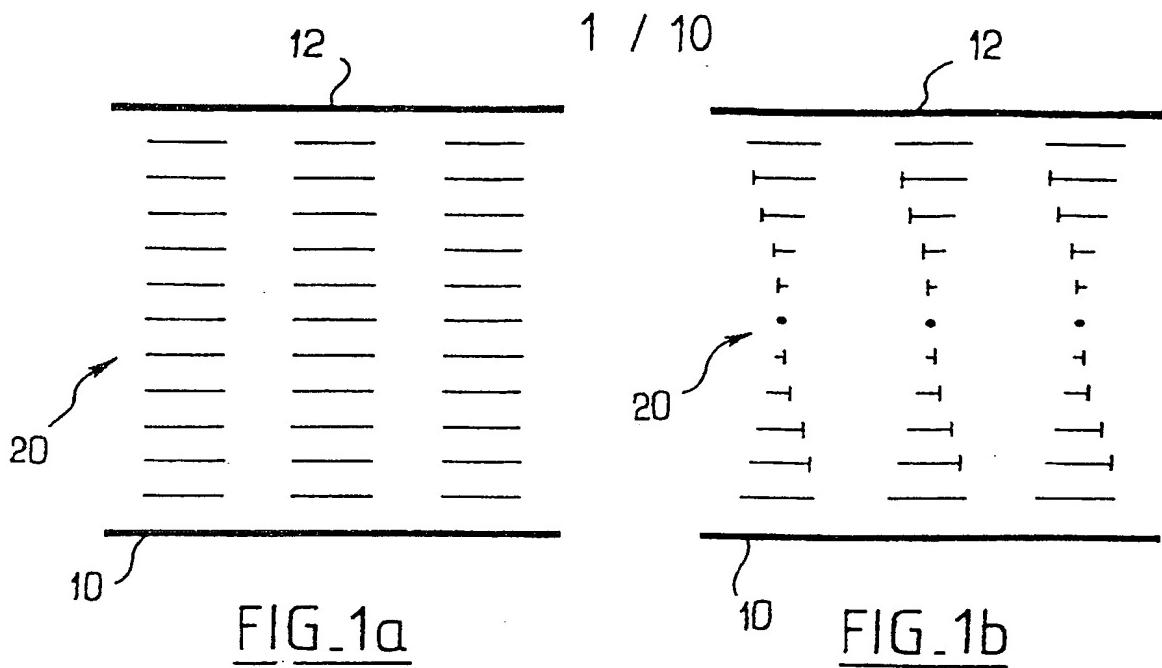
10 44. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 43, caractérisé par le fait que le matériau cristal liquide (20) est dopé par des ions permettant de modifier les seuils de basculement des molécules sur l'une au moins des plaques.

45. Dispositif selon la revendication 44, caractérisé par le fait que les ions sont choisis dans le groupe comprenant du téraphénylborate de sodium, du chlorure de térabutyl ammonium et du bromure de cétyltributyl ammonium.

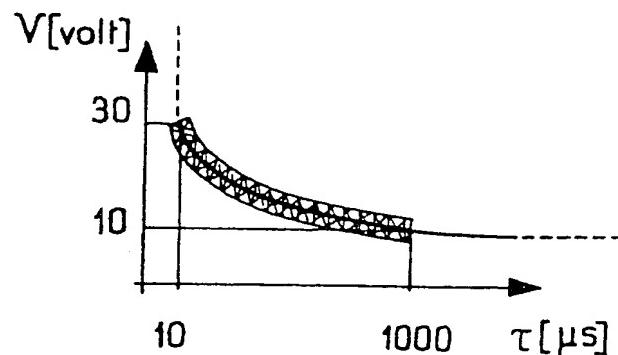
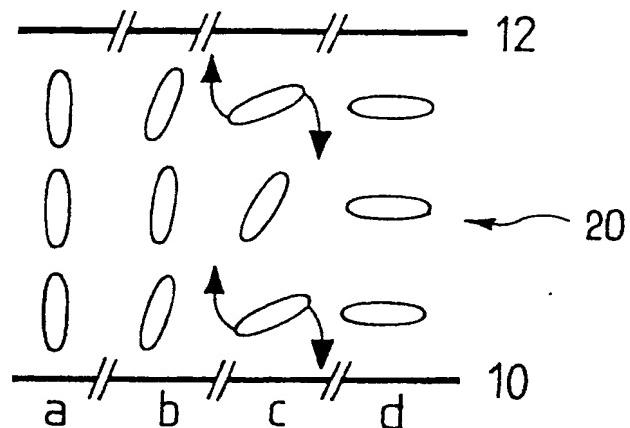
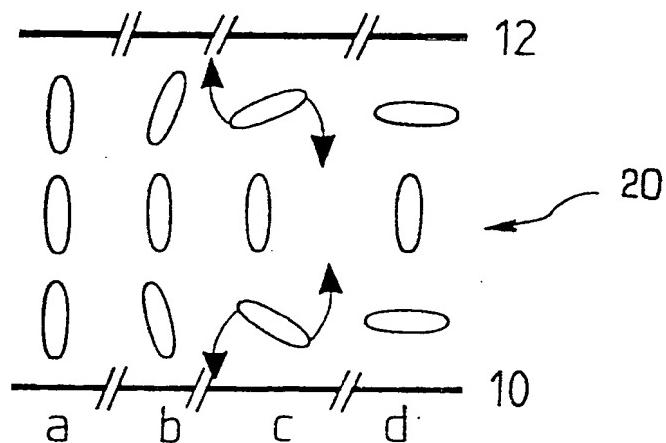
15 46. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 45, caractérisé par le fait que le temps de descente de la tension de commande d'écriture est inférieur à 30 $\mu$ s.

20 47. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 46, caractérisé par le fait que le temps de descente de la tension de commande d'effacement est supérieur à 30 $\mu$ s.

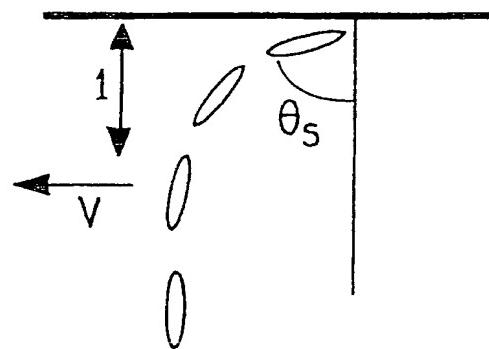
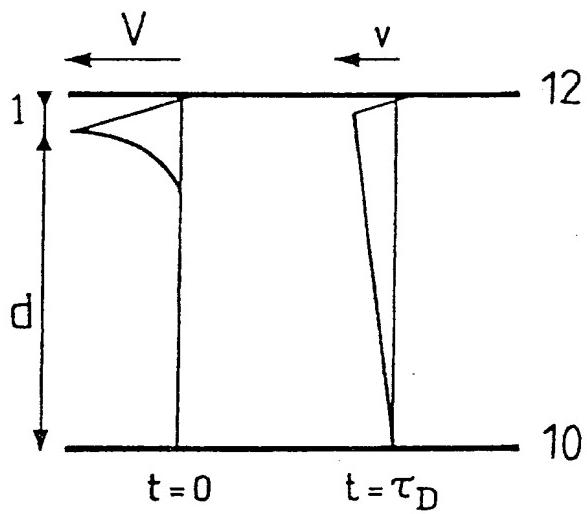
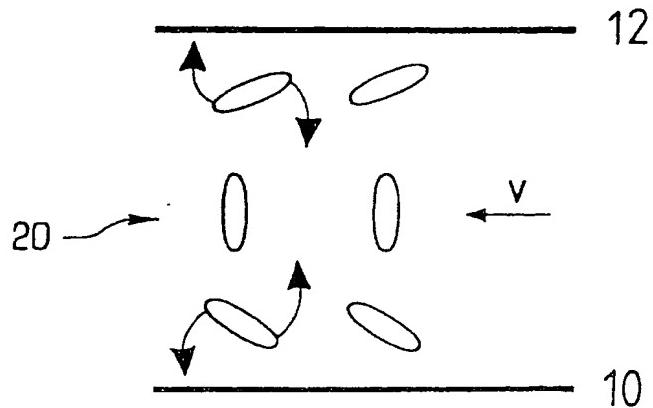
48. Dispositif selon l'une des revendications 27 à 47, caractérisé par le fait que les moyens de commande électriques (40) sont adaptés pour appliquer une tension électrique alternative.



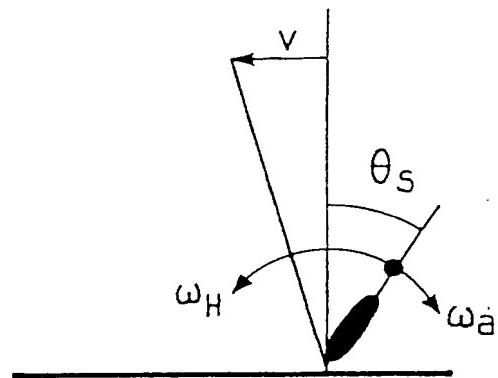
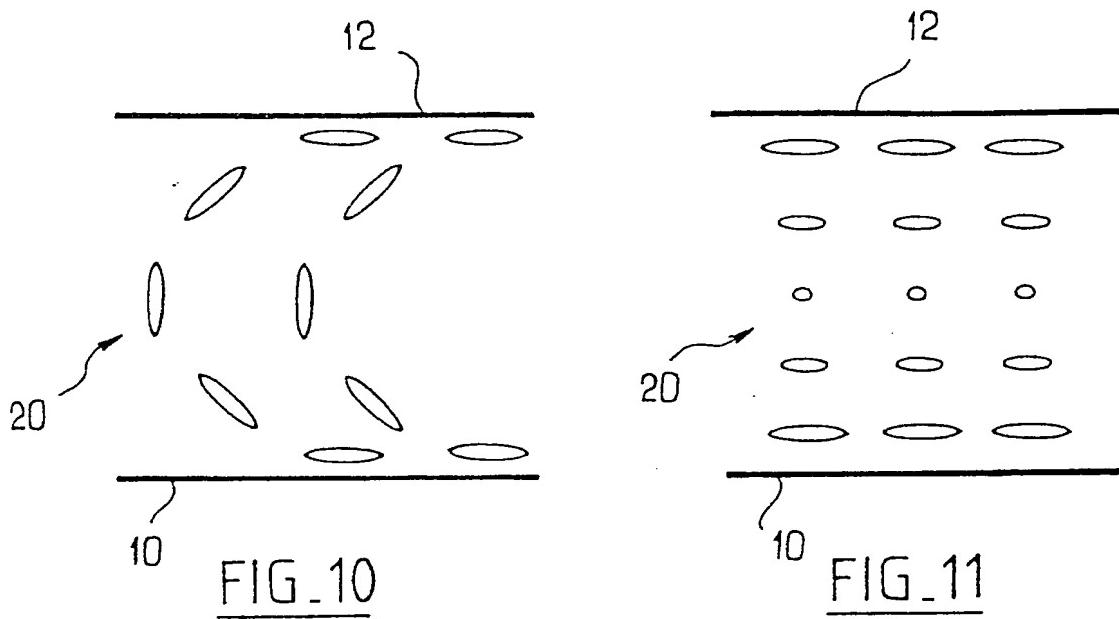
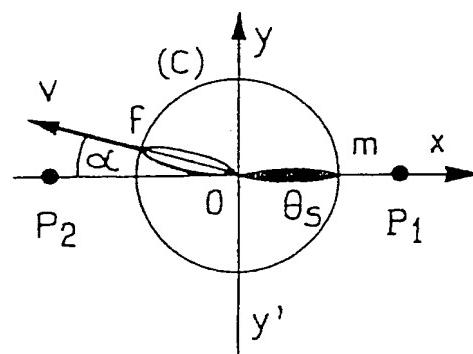
2 / 10

FIG\_4FIG\_5FIG\_6

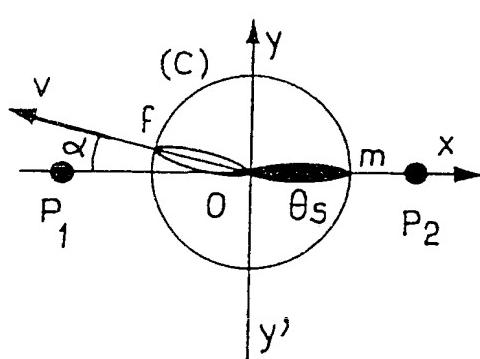
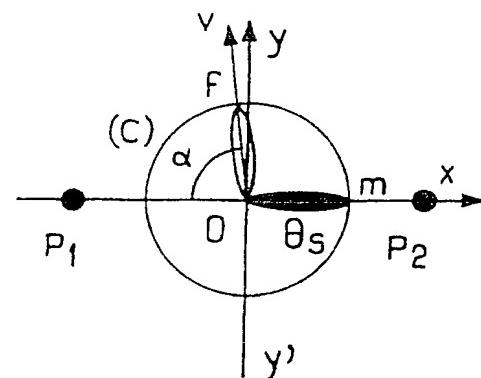
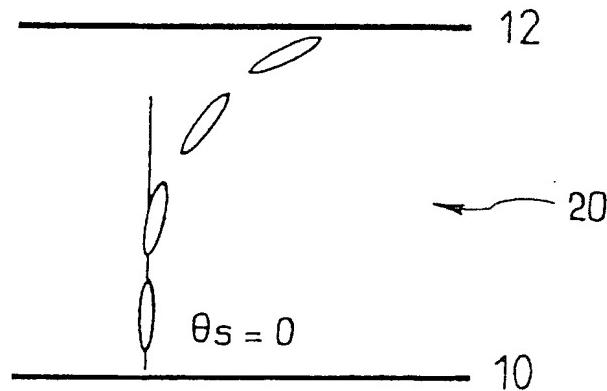
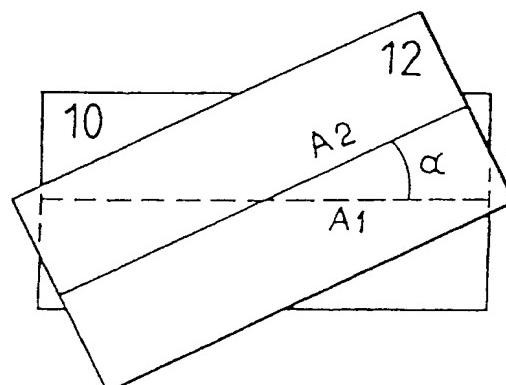
3 / 10

FIG. 7FIG. 8FIG. 9

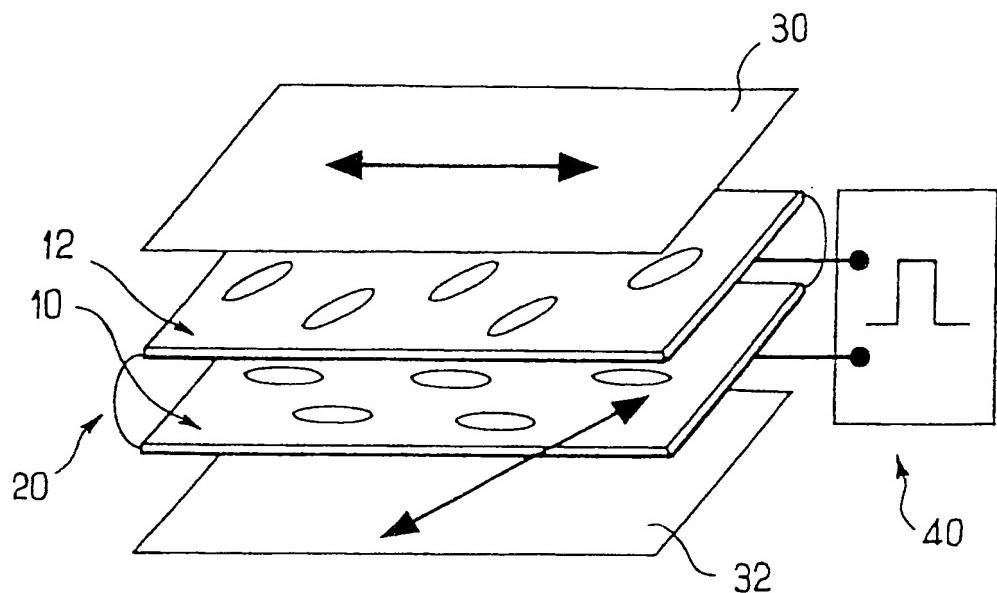
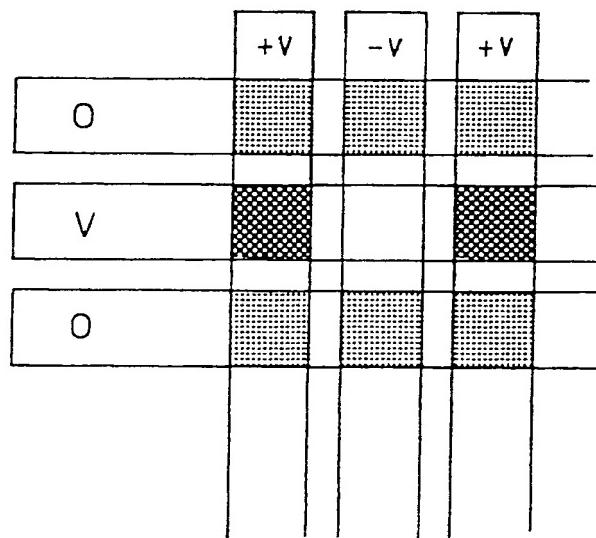
4 / 10

FIG. 12FIG. 13

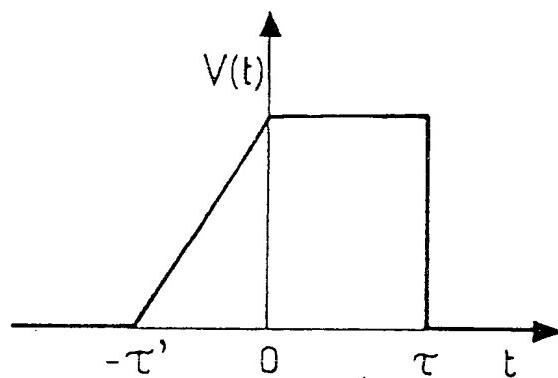
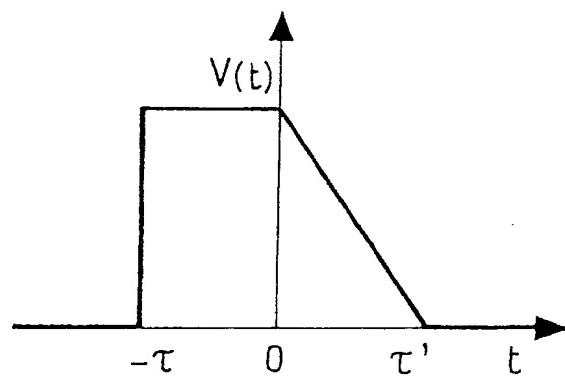
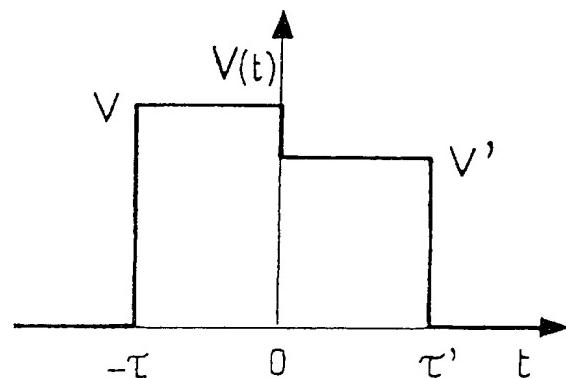
5 / 10

FIG.14FIG.15FIG.16FIG.17

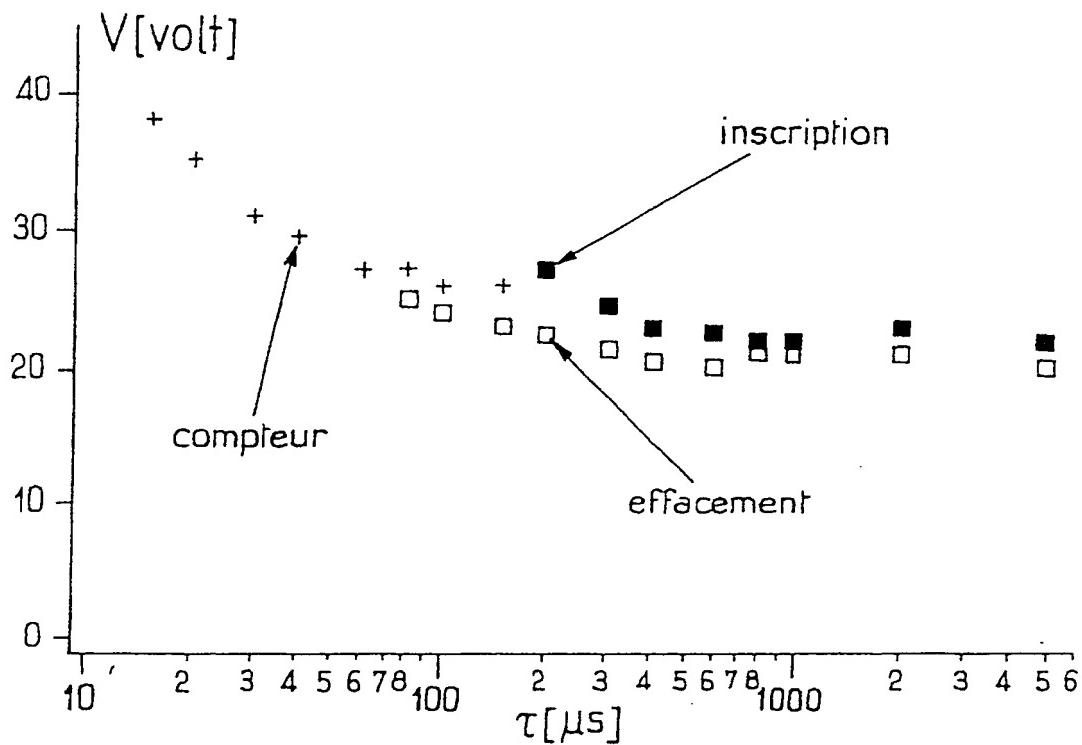
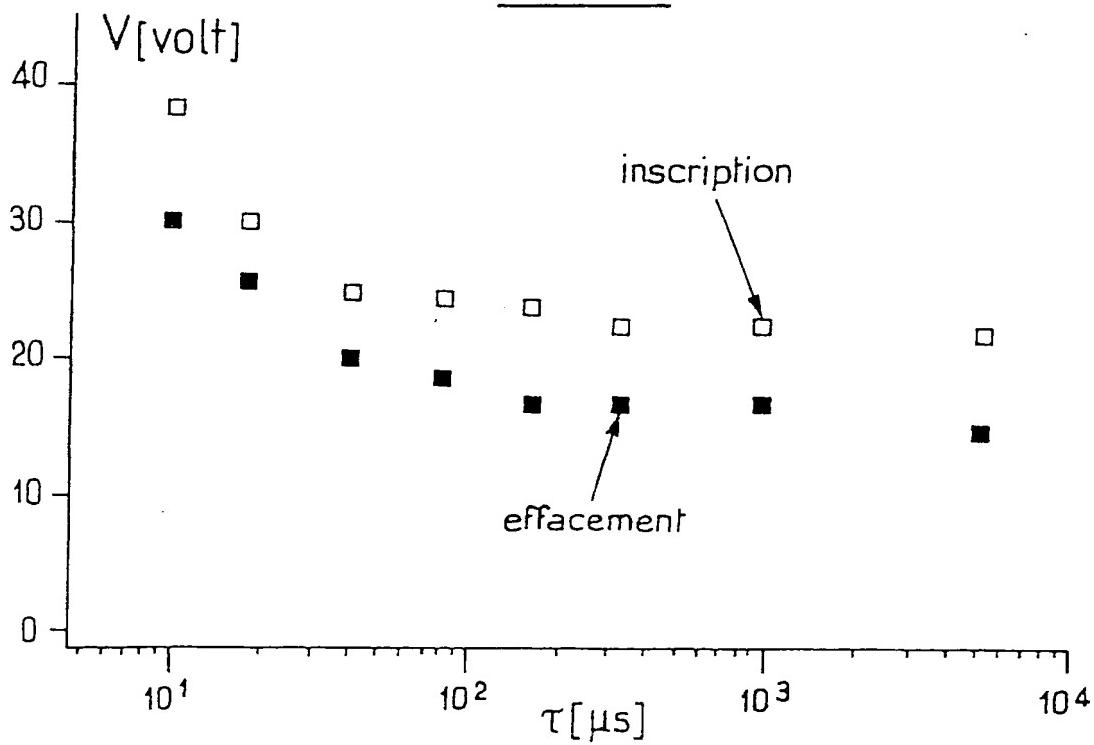
6 / 10

FIG. 18FIG. 19

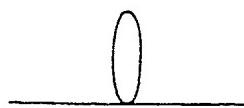
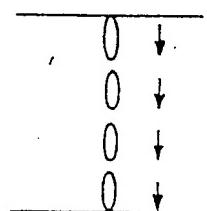
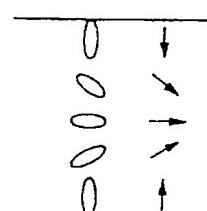
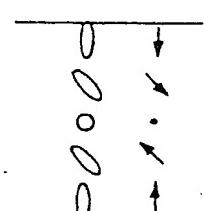
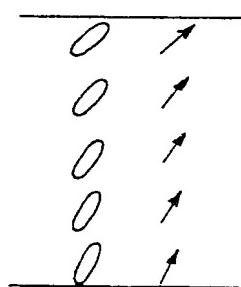
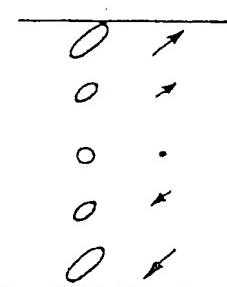
7 / 10

FIG\_20FIG\_21FIG\_22

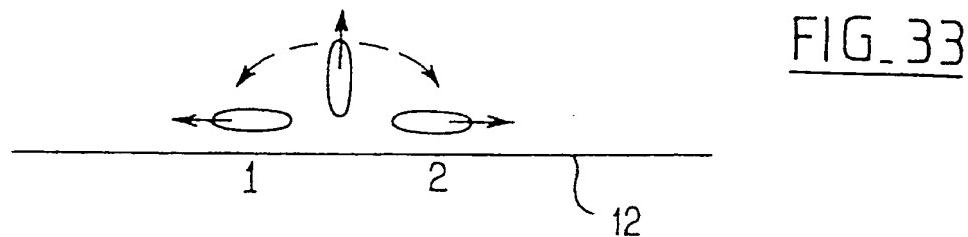
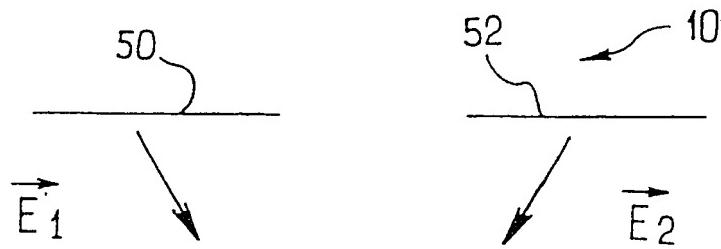
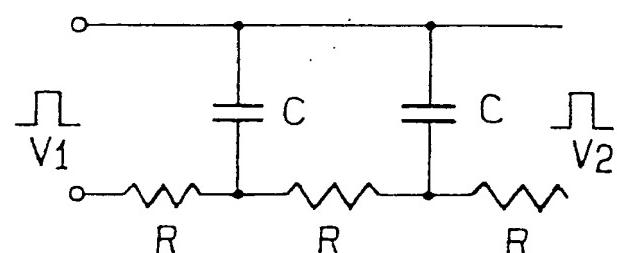
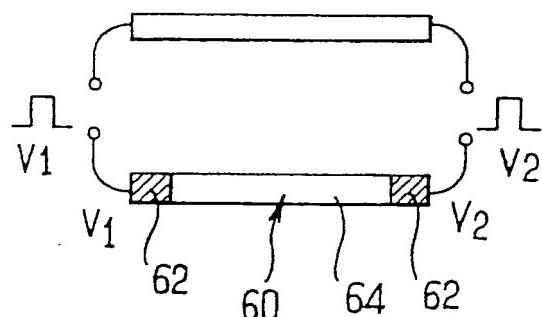
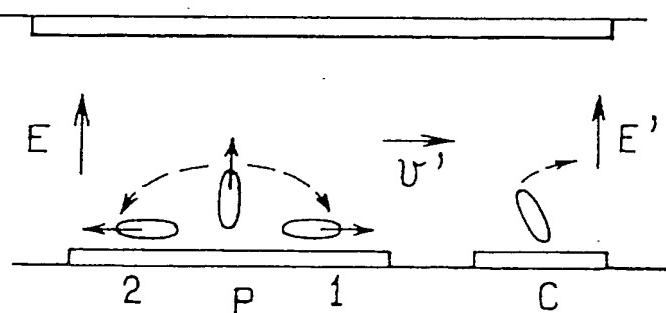
8 / 10

FIG. 23FIG. 24

9 / 10

FIG. 25FIG. 26FIG. 27FIG. 28FIG. 29FIG. 30FIG. 31FIG. 32

10 / 10

FIG. 34FIG. 35FIG. 36

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

Après l'accomplissement de la procédure prévue par les textes rappelés ci-dessus, le brevet est délivré. L'Institut National de la Propriété Industrielle n'est pas habilité, sauf dans le cas d'absence **manifeste** de nouveauté, à en refuser la délivrance. La validité d'un brevet relève exclusivement de l'appréciation des tribunaux.

L'I.N.P.I. doit toutefois annexer à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention. Ce rapport porte sur les revendications figurant au brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n' étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1.ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

| Référence des documents<br>(avec indication, le cas échéant, des parties pertinentes)  | Revendications du<br>brevet concernées     |
|--|--|
| <p>LIQUID CRYSTALS, AUG. 1991, UK,<br/>vol. 10, no. 2, ISSN 0267-8292,<br/>pages 289-293, XP000590840<br/>BARBERI R ET AL: "Flow induced bistable<br/>anchoring switching in nematic liquid crystals"<br/>* le document en entier *<br/>idem</p> | 1,2,5,9 à 11,<br>13,14,17 à 19<br>24,25,27 |
| <p>EP-A-0 018 180 (WESTERN ELECTRIC CO) 29 Octobre 1980<br/>* abrégé *<br/>* page 2, ligne 3 - page 6, ligne 15 *<br/>* revendications 1-9; figures 1,2 *<br/>idem</p>   | 1 à 5,9 à 13,<br>18,19,24,25,<br>27        |
| <p>JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, APRIL 1981, USA,<br/>vol. 52, no. 4, ISSN 0021-8979,<br/>pages 3032-3039, XP002009196<br/>BERREMAN D W ET AL: "New bistable<br/>liquid-crystal twist cell"<br/>* chapitres 1,2,7,9 *<br/>idem</p>                 | 1 à 5,9 à 13,<br>18,19,24,25,<br>27        |
| <p>FR-A-2 587 506 (CENTRE NAT RECH SCIENT) 20 Mars 1987<br/>* revendications 1,3,4,7,8,10-15 *</p>   | 1  |
| <p>US-A-5 040 876 (PATEL JAYANTILAL S ET AL) 20 Août 1991<br/>* colonne 1, ligne 63 - colonne 2, ligne 27; figures *</p>   | 1  |

N° d'enregistrement national : 96 04447

2740894

N° de publication :

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT  
L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

APPLIED PHYSICS LETTERS, 11 DEC. 1989, USA,  
vol. 55, no. 24, ISSN 0003-6951, pages 2506-2508, XP000095688  
BARBERI R ET AL:

APPLIED PHYSICS LETTERS, 2 MARCH 1992, USA, vol. 60, no. 9, ISSN 0003-6951,  
pages 1085-1086, XP000289969 BARBERI R ET AL:

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE  
DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

| Référence des documents<br>(avec indication; le cas échéant, des parties pertinentes) | Revendications du<br>brevet concernées |
|---|--|
| NEANT   |  |

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**